

AB2

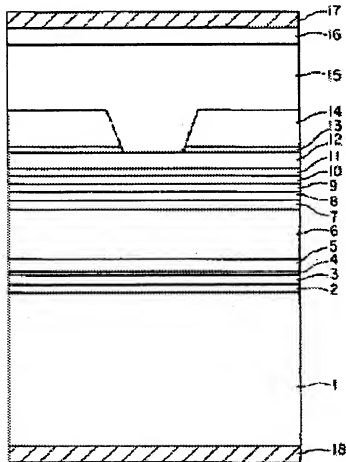
10/829,306

SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING DEVICE**Publication number:** JP7022712**Publication date:** 1995-01-24**Inventor:** ISHIKAWA MASAYUKI; NISHIKAWA YUKIE; SAITO SHINJI;
KAMATA ATSUSHI; JIYON RENII**Applicant:** TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO**Classification:**
- International: **H01L33/00; H01S5/00; H01S5/30; H01L33/00; H01S5/00;**
(IPC1-7): H01S3/18; H01L33/00

- European:

Application number: JP19930189404 19930630**Priority number(s):** JP19930189404 19930630**Report a data error here****Abstract of JP7022712**

PURPOSE: To provide a semiconductor light emitting device which can oscillate light with a short wavelength (blue) with improved light emitting characteristic. **CONSTITUTION:** The device is provided with a semiconductor light emitting layer 9 which is formed on p-type GaAs substrate 1 and consists of CdZnSe and semiconductor superlattice light guide layers 7 and 11 which refractive index is smaller than that of the semiconductor light emitting layer 9 and pinches the semiconductor light emitting layer 9 with a quantum barrier structure.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-22712

(43) 公開日 平成7年(1995)1月24日

(51) Int.Cl. ⁴	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 S 3/18				
H 0 1 L 33/00		D 7376-4M		

審査請求 未請求 請求項の数2 F D (全9頁)

(21) 出願番号 特願平5-189404

(22) 出願日 平成5年(1993)6月30日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区瀬川町72番地

(72) 発明者 石川 正行

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 西川 幸江

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 斎藤 真司

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦

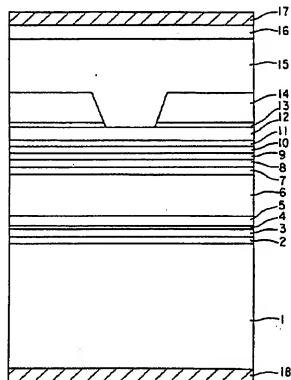
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体発光装置

(57) 【要約】

【目的】 良好な発光特性でもって、短波長（青色）の光を発振できる半導体発光装置を提供すること。

【構成】 p型GaAs基板1上に形成され、CdZnSe超格子7aとZnSe超格子7bとからなり、屈折率が半導体発光層9より小さく、且つ量子障壁構造を有する半導体発光層9を挟持する半導体超格子光ガイド層7、11とを備えている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板上に形成された半導体発光層

と、
この半導体発光層の片面または両面に設けられ、半導体超格子層により形成され、屈折率が前記半導体発光層よりも小さく、且つ多重量子障壁層が形成されている光ガイド半導体層とを具備してなることを特徴とする半導体発光装置。

【請求項2】 半導体基板上に形成された第1導電型のクラッド層と、

この第1導電型のクラッド層上に形成され、VI族元素を含む発光材料からなる活性層と、
この活性層上に形成され、前記第1導電型のクラッド層および前記活性層とともにダブルヘテロ接合部を形成する第2導電型のクラッド層と、
前記二つのクラッド層の少なくとも一方に挿入され、タイプIIの半導体超格子層により形成され、且つ多重量子障壁層が形成されている半導体超格子層とを具備してなることを特徴とする半導体発光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、半導体レーザ、発光ダイオード等の半導体発光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来より種々の化合物半導体が半導体レーザに用いられているが、近年、ZnSeなどのワイドギャップ II-VI族化合物半導体が注目されている。これはこの種の化合物半導体が可視長波領域の光の波長に相当するエネルギーと同等以上の広いバンドギャップを有するので、可視発光素子材料としての利用が可能だからである。

【0003】 特に、GaAlAs、InGaAlPなどの III-V族化合物半導体材料による半導体レーザや発光ダイオードの動作波長域が緑色より長い波長域であるのに対し、ワイドギャップ II-VI族化合物半導体の場合にはより波長の短い青色や紫外光までの動作が可能となる。このため、小型、軽量、低動作電圧、高信頼性など従来の半導体発光装置の有利な利点をそのまま短波長領域に適用できるようになる。これによって、光ディスクの高密度化、更には、屋外メッセージボードなどのフルカラー化も実現できるようになる。

【0004】 図10は、ワイドギャップ II-VI族化合物半導体 (ZnSe) を用いた従来の電流注入型の青緑色半導体レーザ装置の概略構造を示す断面図である。

【0005】 図中、81はn型GaAs基板を示しており、このn型GaAs基板81上には、n型GaAsバッファ層82を介して、n型ZnSe層83、n型ZnSSe層84、n型ZnSe層85、CdZnSe量子井戸層86、p型ZnSe層87、p型ZnSSe層88、p型ZnSe層89が順次積層されている。このp

型ZnSe層89上には、開口部を有するポリイミド層90を介して、p側Au電極91が設けられ、一方、n型GaAs基板81には、n側In電極92が設けられている。

【0006】 このように構成された青緑半導体レーザ装置によれば、液体窒素温度での連続発振や、室温でのパルス発振を行なえると報告されている (Applied Physics Letters, Vol.59, pp.1272-1274 (1991))。

【0007】 しかしながら、実用的な半導体レーザ装置として必要な室温以上での連続発振は実現されていない。これは、ZnSeなどのワイドギャップ II-VI族化合物半導体を用いた場合には、III-V族化合物半導体を用いた場合に比べて、n型ZnSe層85、p型ZnSe層87 (クラッド層) とCdZnSe量子井戸層86 (発光層) との間のバンドギャップ差が小さく、発光層内に電子や正孔を良好に閉じ込めることができないからである。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】 上述の如く、ZnSeなどのワイドギャップ II-VI族化合物を用いた従来の青緑色半導体レーザ装置にあっては、クラッド層と発光層との間のバンドギャップ差が小さく、発光層内に電子や正孔を良好に閉じ込めることができず、室温以上での連続発振は実現されていないであった。

【0009】 本発明は、上記事情を考慮してなされたもので、その目的は、短波長 (青色) の光に対して良好な発光特性を示す半導体発光装置を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】 上記の目的を達成するために、本発明の半導体発光装置 (請求項1) は、半導体基板上に形成された半導体発光層と、この半導体発光層の片面または両面に設けられ、半導体超格子層により形成され、屈折率が前記半導体発光層よりも小さく、且つ多重量子障壁層が形成されている光ガイド半導体層を備えたことを特徴とする。

【0011】 ここで、上記の如きの特徴を持っている半導体超格子層は、例えば、2種類の半導体超格子を交互に積層することで実現できる。また、上記2種類の半導体超格子を形成する二つの半導体材料の少なくとも一方の格子定数は、または上記多重量子井戸層の格子定数、または両方の格子定数が、上記半導体基板の格子定数と0.5%以上異なっていることが好ましい。

【0012】 また、上記半導体基板はGaAs、上記2種類の半導体超格子を形成する二つの半導体材料は、ZnSe、CdZnSeであることが好ましい。この場合、半導体発光層は、上記半導体超格子を形成するCdZnSeより厚いCdZnSeからなる量子井戸層と、ZnSeからなる量子障壁層とで構成される単一量子井戸層または多重量子井戸層であることが好ましい。

3

【0013】また、本発明の他の半導体発光装置（請求項2）は、半導体基板上に形成された第1導電型のクラッド層と、この第1導電型のクラッド層上に形成され、VI族元素を含む発光材料からなる活性層と、この活性層上に形成され、前記第1導電型のクラッド層、前記活性層とともにダブルヘテロ接合部を形成する第2導電型のクラッド層と、前記二つのクラッド層の少なくとも一方に挿入され、タイプIIの半導体超格子により形成され、且つ多重量子障壁層が形成されている半導体超格子層とを備えたことを特徴とする。

【0014】ここで、VI族元素を含む発光材料として、カルコゲナイド半導体（II-VI化合物半導体、I-III-VI族半導体）を用いることが好ましい。また、II族元素としてはZnが好ましい。

【0015】また、p型クラッド層の形成に用いるp型不純物としては、N、P、As、Liが好ましい。p型クラッド層は2.7eV以上の禁帯幅を持ち、且つ半導体超格子層はTeを含む亜鉛化合物からなることが好ましい。

【0016】

【作用】本発明の半導体発光装置（請求項1）によれば、半導体超格子層により形成された光ガイド層に多重量子障壁構造を持たせているので、光ガイド層の発光層のキャリアに対するバリアは、量子井戸効果によって増加する。

【0017】このため、光ガイド層に、半導体超格子層により光り閉じ込めの役割だけでなく、半導体発光層内にキャリアを閉じ込める役割も持たせることができる。

【0018】したがって、例えば、半導体発光層として青色発光に必要なワイドギャップ半導体層を用いて、ダブルヘテロレーザを形成する場合に、半導体発光層とクラッド層との間のバンドギャップが小さくても、本発明の光ガイド層によるキャリアの閉じ込め効果によって、従来よりも半導体発光層のキャリアの漏れを少なくでき、短波長（青色）の光に対して良好な発光特性を示す半導体発光装置が得られる。

【0019】また、本発明の他の半導体発光装置（請求項2）によれば、クラッド層に半導体超格子層が挿入されているので、クラッド層内の不純物は上記半導体超格子層によってトラップされる。

【0020】したがって、クラッド層内の不純物が活性層に拡散することによる特性劣化を抑制できる。

【0021】更に、上記半導体超格子層は、タイプIIの超格子により形成されているので、タイプIの超格子により形成された半導体超格子層に比べて、活性層に対するバリアは高いものとなる。しかも、上記半導体超格子層には多重量子障壁層が形成されているので、多重量子障壁効果によって更にバリアは高くなる。

【0022】したがって、青色光の発生に必要なワイドギャップ半導体からなる活性層を用いても、活性層内に

4

キャリアを十分に閉じ込めることができ、短波長（青色）の光に対して良好な発光特性を示す半導体発光装置が得られる。

【0023】

【実施例】以下、図面を参照しながら実施例を説明する。

【0024】図1は、本発明の第1の実施例に係る半導体レーザ装置の概略構造を示す断面図である。なお、括弧内の具体的な材料名、厚さ、ドーピングキャリア濃度は一例であってこれに限定されるものではない。

【0025】図中、1はp型GaAs基板を示しており、このp型GaAs基板1上にはp型InGaP基板表面層2（厚さ100nm、キャリア濃度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）、p型InGaAlPワイドギャップ層3（厚さ100nm、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）、p型InGaP表面層4（厚さ5nm、キャリア濃度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）が順次形成されている。

【0026】p型InGaP表面層4上には、p型ZnSeバッファ層5（厚さ100nm、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）を介して、下部クラッド層6、下部半導体超格子光ガイド層7、下部半導体障壁層8、半導体発光層9、上部半導体障壁層10、上部半導体超格子光ガイド層11、上部クラッド層12が順次設けられ、発光領域となる多重ヘテロ構造部が形成されている。

【0027】上部クラッド層12上には、MgSeエッチング停止層13が形成され、このMgSeエッチング停止層13（厚さ2nm）上には、p型ZnSe電流阻止層14（厚さ1 μm 、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）が形成されている。このp型ZnSe電流阻止層14およびMgSeエッチング停止層13の開口部に当たる上部クラッド層12およびp型ZnSe電流阻止層14上には、n型ZnSe埋め込み層15（厚さ3 μm 、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）が形成されている。

【0028】n型ZnSe埋め込み層15上には、n型ZnSeキャップ層16（厚さ500nm、キャリア濃度 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ）が形成され、このn型ZnSeキャップ層16上には、全面にわたって、Al層（厚さ100nm）、Ti層（50nm）、Pt層（50nm）、Au層（300nm）がこの順で積層されてなるn側電極17が形成されている。また、p型GaAs基板1側にはAuZn/Auからなるp側電極18が形成されている。

【0029】図2は、図1の半導体レーザ装置の多重ヘテロ構造部の詳細な構造を示す伝導帯のエネルギーバンド図である。

【0030】下部クラッド層6は、p型ZnSe層（厚さ2 μm 、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）からなり、また、上部クラッド層12は、n型ZnSe層（厚さ0.5 μm 、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）からな

る。

【0031】下部半導体超格子光ガイド層7および上部半導体超格子光ガイド層11は、それぞれ、CdZnSe (Cd組成0.3) 超格子7aとZnSe超格子7bとが交互に積層した構造、およびCdZnSe (Cd組成0.3) 超格子11aとZnSe超格子11bとが交互に積層した構造になっており、CdZnSe超格子7a、11aおよびZnSe超格子7b、11bの厚さは共に2nm、そして、CdZnSe超格子7a、11aおよびZnSe超格子7b、11bの層数は共に5層である。

【0032】下部半導体障壁層8および上部半導体障壁層10は共にZnSe層 (厚さ10nm) からなり、また、半導体発光層9はCdZnSe (Cd組成0.3、厚さ10nm) で形成された単一の量子井戸層からなる。

【0033】このように構成されたレーザ素子を共振器長500 μ mに劈開し、銅製のヒートシンクにIn半田を用いてマウントし、その特性を室温において評価した。その結果、発振波長は525nmであり、また、連続発振での発振しきい値電流は40mAであった。このときの動作電圧は2.75Vで、また、連続発振の最高発振温度は90°Cであった。すなわち、本実施例によれば、従来困難であった室温での連続発振ばかりでなく、室温での実用に十分な信頼性を確保するのに必要な高温までの発振が得られた。

【0034】このような良好な結果が得られたのは次のように考えられる。

【0035】本実施例では、下部半導体超格子光ガイド層7および上部半導体超格子光ガイド層11を、半導体発光層9より薄いCdZnSe超格子とZnSe超格子とで形成している。

【0036】これにより、図3に示すように、下部半導体超格子光ガイド層7および上部半導体超格子光ガイド層11の屈折率を、半導体発光層9の屈折率と下部クラッド層6 (上部クラッド層12) の屈折率との間にすることができ、また、半導体発光層9からの発光に対して下部半導体超格子光ガイド層7および上部半導体超格子光ガイド層11が透明になっている。

【0037】このため、半導体発光層9への光閉じ込めを大幅に改善できる。例えば、本実施例の半導体レーザ装置の光閉じ込め量は、下部半導体超格子光ガイド層7および上部半導体超格子光ガイド層11が無いもの比べて、約3倍も増加するようになる。

【0038】また、CdZnSe超格子とZnSe超格子とは極薄なものなので、格子定数差による転位の発生を抑制できる。

【0039】このため、下部半導体超格子光ガイド層7、上部半導体超格子光ガイド層11の転位が半導体発光層9に伸張し、非発光再結合が増加するという問題は

生じない。このような超格子構造の光ガイド層を用いることで、転位の発生防止と屈折率の制御の両立が困難なCdZnSe/ZnSe系などのワイドギャップII-VI族化合物半導体の青色光材料の使用が可能なる。

【0040】また、下部半導体超格子光ガイド層7、上部半導体超格子光ガイド層11は、それぞれ、下部半導体障壁層8、上部半導体障壁層10によって、半導体発光層9と隔てられている。

【0041】このため、半導体発光層9から下部半導体超格子光ガイド層7、上部半導体超格子光ガイド層11へのキャリアの熱的放出に対するバリアは高く保持され、同様に、トンネル電流によるキャリアの放出も抑制できる。したがって、半導体発光層9内にキャリアを良好に閉じ込めることができ、動作電圧を低くできる。

【0042】また、下部半導体超格子光ガイド層7、上部半導体超格子光ガイド層11が高い反射率を有するように、CdZnSe超格子およびZnSe超格子の厚さを設定しているので、つまり、下部半導体超格子光ガイド層7、上部半導体超格子光ガイド層11がMQB効果を発揮できるように、CdZnSe超格子およびZnSe超格子の厚さをしている。

【0043】このため、下部半導体障壁層8、上部半導体障壁層10の伝導帯レベルよりも大きなエネルギーを有するキャリアに対しても、下部半導体超格子光ガイド層7、上部半導体超格子光ガイド層11は有効なバリアとして機能する。

【0044】図4は、動作時における伝導帯電子のうち、漏れ電流の原因となるクラッド層下端よりも大きなエネルギーを有する電子の分布状態を示す図である。

【0045】図4から下部半導体超格子光ガイド層7、上部半導体超格子光ガイド層11による電子の多重反射により、半導体発光層9に分布する電子の数が大きくなっていることが分かる。

【0046】すなわち、下部半導体超格子光ガイド層7、上部半導体超格子光ガイド層11の存在によって、定常状態において電子分布は共鳴状態を形成し、半導体発光層9の量子井戸層上で電子数が大きい分布が形成された。このため、特に大きな漏れ電流の低減に効果があつた。

【0047】かくして本実施例によれば、光ガイド層として、超格子からなり、且つMQB効果を持つ下部半導体超格子光ガイド層7、上部半導体超格子光ガイド層11を使用しているので、発振に必要な利得を生じる半導体発光層9への光および注入キャリアの閉じ込めが効果的に行なわれる結果、青色光材料であるワイドギャップII-VI族化合物半導体を用いても、室温以上の高温でも連続発振できる半導体装置が得られる。

【0048】次に本実施例の変形例や他の利点・特徴について説明する。

【0049】まず、本実施例では、半導体発光層9とし

7

て、CdZnSeからなる単一量子井戸構造のものを用いたが、CdZnSe/ZnSe多層構造からなる多重量子井戸構造でも同様な効果が得られる。

【0050】また、本実施例では、半導体発光層9の両側に半導体障壁層8、10および半導体超格子光ガイド層7、11を設けたが、どちらか一方であっても良い。特に下部クラッド層(p型クラッド層)6側に設けることにより電子の漏れを防ぎやすくなりその効果は大きかった。

【0051】また、半導体発光層9、半導体障壁層8、10、半導体超格子光ガイド層7、11、クラッド層6、12の組み合わせについては、いろいろな組み合わせが可能であり、例えば、半導体発光層9をCdZnSとし、半導体超格子光ガイド層7、11をCdZnS/ZnSとしたものや、クラッド層6、12をZnMgSeとし、半導体超格子光ガイド層7、11を組成の異なる2種類のZnMgSeとしたものや、クラッド層6、12をCdZnMgSeとし、半導体超格子光ガイド層7、11を組成の異なる2種類のCdZnMgSeとしたものなどでも同様の効果がみられた。

【0052】また、本実施例では、p型GaAs基板1上にp型InGaP基板表面層2、p型InGaAlPワイドギャップ層3、p型InGaP表面層4を形成した上に、p型ZnSeバッファ層5を介して、下部クラッド層6を形成している。これは良好な結晶性と、電圧降下の小さなヘテロ界面を提供するためのものであり、同様の効果の得られる材料、構造であれば、本実施例と異なっているものも良い。

【0053】また、本実施例では、上部クラッド層12上にMgSeエンテング停止層13、p型ZnSe電流阻止層14およびn型ZnSe埋め込み層15による電流狭窄構造を形成している。これは電流の横方向への拡散による動作電流の増加を防ぐためのものであり、同様の効果の得られる電流狭窄構造であれば、本実施例と異なっているものも良い。

【0054】また、本実施例の素子構造は、レーザ動作に有利なものであるが、本構造を発光ダイオードに適用しても、注入されたキャリアを半導体発光層に有効に閉じ込められるという特性が得られ、発光ダイオードを高効率に動作させることができた。

【0055】また、本実施例に示した構造は、その作成上も大きな利点を有している。

【0056】すなわち、分子線エピタキシー法(MBE法)などで成長する場合、本実施例の場合、素子構造がZnSeおよびCdZnSeの2種類の材料によってのみ構成されることから、蒸発源と基板との間のシャッターを開閉することで、原料ビームを切り替え、蒸発源の温度を変えることなく、超格子の作成が可能となる。したがって、急峻な界面を持ち、制御性、安定性に優れた超格子の作成が可能である。

8

【0057】このような事情は、水素化合物などのガスや有機金属などをを用いたいわゆるCBE法(Chemical Beam Epitaxy)や有機金属気相成長法(MOCVD法)でも、ガスや有機金属などの流量を変えなく、バルブやシャッター操作のみで成長が可能であり、MBE法と同等である。

【0058】特に、CdZnSe/ZnSeなどの場合は、ZnおよびSeのビームを一定の強度で基板に照射しながら、一定の強度のCdビームをシャッターの開閉により、ある時間、基板に照射することにより半導体超格子層を形成できることから、非常に優れた再現性を得ることが可能となる。このような事情はCdZnS/ZnSなどの超格子の成長においても同様である。

【0059】図5は、本発明の第2の実施例に係る発光ダイオードの概略構造を示す断面図である。

【0060】図中、21はn型GaAs基板を示しており、このn型GaAs基板21上には、n型ZnSe_{0.91}Se_{0.09}クラッド層22、ZnSe活性層23、p型ZnSe_{0.99}Se_{0.01}クラッド層24a、ZnSe/ZnTeタイプII超格子層25、p型ZnSe_{0.99}Se_{0.01}クラッド層24bが順次成長されている。このp型ZnSe_{0.99}Se_{0.01}クラッド層24bにはAu電極26が設けられ、また、n型GaAs基板21にはAuGe合金電極27が設けられている。

【0061】ZnSSe/ZnTeタイプII超格子層25は、多重量子障壁構造を有し、超格子層を構成するZnSSe超格子、ZnTe超格子の厚さは共に2nmで、その周期は4で、そして、各超格子の平均の格子定数はn型GaAs基板21に整合している。また、p型ZnSe_{0.99}Se_{0.01}クラッド層24bの厚さは20nmである。

【0062】各層はMOCVD法により形成し、その成長条件は、例えば、ジメチル亜鉛供給量20μmol/min、ジメチルセレン供給量40μmol/min、ジエチル硫黄供給量5~20μmol/min、ジシロプロピルチル供給量50μmol/min、ジプロモプロパン40μmol/min、アンモニア4000μmol/min、成長温度500℃、成長圧力1atmとする。n型ZnSe_{0.99}Se_{0.01}クラッド層22は塩素を添加して形成し、p型ZnSe_{0.99}Se_{0.01}クラッド層24aは亜硫酸原料としてアンモニアを用い塩素を添加して形成する。成長温度はいずれの層も500℃である。

【0063】図6は、本実施例の発光ダイオードの電流-光出力特性を示し、比較例として、ZnSSe/ZnTeタイプII超格子層25がない従来の発光ダイオードのそれとも示している。

【0064】本実施例の場合には、順方向の立ち上がり電圧が2.5Vと低く、ダイオード特性を現すn値も1.7と小さい。また、光出力は数m~100mAの範囲で電流に比例して増大することが分かる。

【0065】このような良好が結果が得られたのは次のように説明される。

【0066】図7は、本実施例の発光ダイオードの電圧印加時におけるエネルギーバンド図である。図中、25a, 25bはそれぞれZnSSe/ZnTeタイプII超格子層25を構成するZnTe超格子、ZnSSe超格子を示している。

【0067】本実施例の場合、価電子帯のホールは、ZnSe活性層23とn型ZnSe.09Se.91クラッド層22との間のバンドオフセットが100meVであるため、ZnSe活性層23内に閉じ込められる。

【0068】一方、伝導帯の電子は、ZnSSe/ZnTeタイプII超格子層25により、ZnSe活性層23とp型ZnSe.09Se.91クラッド層24a, 24bとの実効的なバンドオフセットが0.5eV程度大きくなるために、ZnSe活性層23内に閉じ込められる。

【0069】このようにバンドオフセットが大きくなる理由には大きく分けて二つある。

【0070】第1の理由、本実施例の場合、p型クラッド層内にタイプII超格子層を挿入した構造になっているからである。すなわち、ZnSSe/ZnTeタイプII超格子層25はタイプII超格子で形成されているため、その伝導帯レベルは、図7に示すように、ZnSe活性層23のそれよりも高く、電子に対する十分なバリアが形成されるからである。ここで、p型クラッド層内にタイプII超格子層を挿入した場合には、ZnSe活性層23の伝導帯レベルとタイプII超格子層とのそれは略等しくなり、本実施例のように高いバリアは形成されない。このように超格子として特にタイプIIを用いることにより、比較例に比べて、伝導帯のバンドオフセットを大きくできる。

【0071】第2の理由は、ZnSSe/ZnTeタイプII超格子層25に多重量子障壁構造が形成されているからである。すなわち、ZnSSe/ZnTeタイプII超格子層25の実効的な伝導帯レベルは、ZnSSe/ZnTeタイプII超格子の伝導帯レベルに多重量子障壁効果による伝導帯レベルの増加を加えたものになる。

【0072】このようにタイプII超格子から形成され、且つ多重量子障壁構造を有する超格子層が挿入されたp型クラッド層を用いることにより、従来に比べて、大幅に、伝導帯のバンドオフセットを大きくできる。

【0073】これに対して、比較例の場合には、光出力自体が小さい上に、10mAを超えると既に光出力の飽和傾向が見られる。その原因は、伝導帯のバンドオフセットが小さく、電流レベルを上げると容易にキャリアオーバーフローが生じ、発光に寄与しない電流成分が増大するからである。

【0074】次に本発明に係る第3の実施例について説明する。本実施例が第2の実施例と異なる点は、p型ZnSe.09Se.91クラッド層のp型不純物としてリチウ

ムを用いていることにある。

【0075】リチウムは結晶中を容易に拡散し得る不純物ではあるが、ZnSe系の材料ではp型伝導を示すアクセプタとして注目されている。しかし、リチウムはpn接合を形成した場合に容易にn型半導体層中に拡散してしまうため、実際のデバイスに用いるには難しいという問題があった。

【0076】このような問題があっても、本実施例によれば、p型ZnSe.09Se.91クラッド層中に添加されたリチウムは、図8のSIMS分析（任意単位）から分かるように、ZnSe活性層23の近傍の超格子層中にトラップされる。これは超格子界面におけるポテンシャルの谷によりリチウムの拡散が抑制されるためと説明される。

【0077】更に、Teを含むZnTe超格子25aの場合、p型不純物の制御が容易でリチウムの添加により高キャリア濃度が達成される。したがって、超格子層をホールが伝導する障壁とならない。

【0078】図9は、本実施例とその比較例として超格子層を挿入しない素子についての電流-電圧特性を示す図である。

【0079】本実施例の場合、順方向の立ち上がり電圧が2.5Vと低く、n値も1.7と良好なpn接合の形成が示されているのに対して、比較例の場合、立ち上がりで、電流が緩やかに増大する上に、n値が10以上とpn接合の形成が認められず、MIS型のデバイス特性を示した。

【0080】この違いは、本実施例ではリチウムの拡散が無く、高濃度のリチウムによりpn接合が形成されているのに対して、比較例ではリチウムの拡散によりn型半導体層の高抵抗化が生じていることに起因する。

【0081】また、本発明者等の研究によれば、ZnSSe/ZnTeタイプII超格子層25の厚さは10~50nm程度、量子井層の厚さが1~8nm程度、超格子25a, 25bの厚さが1~8nm程度、周期数が4~10程度の場合に良好なキャリア閉じ込め効果を示すことが分かった。

【0082】次に第2および第3の実施例の変形例について説明する。

【0083】上記実施例では、活性層材料としてZnSeを用いたが、その代わりにZnSSe、MgZnSSe、CdZnSSe等の他のカルコゲナイド半導体を用いても良い。

【0084】また、上記実施例では、p型ZnSe.09Se.91クラッド層24a, 24bにZnSSe/ZnTeタイプII超格子層を挿入したが、要はp型クラッド層に電子親和力が活性層に比べて小さい材料を含むタイプ2超格子からなる超格子層を挿入すれば良い。

【0085】また、超格子バリア層の構成材料も種々変更可能であり、例えば、ZnTeの代わりに、ZnSe

11

Te、ZnSSeTe等を用いることもできる。

【0086】また、リチウム以外の不純物、例えば、N、P、Asをp型クラッド層に添加しても良い。

【0087】また、n型クラッド層にタイプII超格子層を挿入しても良い。

【0088】なお、本発明は上述した実施例に限定されるものではない。例えば、上記第2および第3の実施例では、発光ダイオードの場合について説明したが、本発明（請求項2）は半導体レーザにも適用でき、室温で青色のレーザ発振を得ることが可能であるまた、基板上にバッファ層を形成しても良いし、基板についてGaAsに限らず他のIII-V族半導体や、II-VI族半導体を用いても良い。

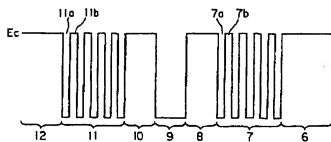
【0089】その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施できる。

【0090】

【発明の効果】以上詳述したように本発明（請求項1）によれば、半導体超格子層により形成された光ガイド層に多重量子障壁構造を持たせているので、光ガイド層の発光層のキャリアに対するバリアは、多重量子障壁効果によって増加し、光ガイド層に光り閉じ込めの役割だけでなく、キャリアの閉じ込めの役割も持たせることができる。したがって、半導体発光材料として、青色発光に必要なワイドギャップ半導体層を用いても、光ガイド層によるキャリアの閉じ込め効果によって、従来よりも半導体発光層のキャリアの漏れを少なくでき、短波長（青色）の光に対しても良好な発光特性を示す半導体発光装置が得られる。

【0091】また、本発明（請求項2）によれば、クラッド層に半導体超格子層が挿入されているので、クラッド層内の不純物は上記半導体超格子層によってトラップされる。更に、上記半導体超格子層は、タイプIIの超格子により形成されているので、活性層に対するバリアは高いものとなり、しかも、上記半導体超格子層には多重量子障壁構造を持たせているので、多重量子障壁効果によって更にバリアは高くなる。したがって、青色光の発生に必要なワイドギャップ半導体からなる活性層を用いても、活性層内にキャリアを十分に閉じ込めることができ、短波長（青色）の光に対しても良好な発光特性を示

【図2】



12

す半導体発光装置が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例に係る半導体レーザ装置の概略構造を示す断面図。

【図2】図1の半導体レーザ装置の多重ヘテロ構造部の詳細な構造を示す伝導帯のエネルギーバンド図。

【図3】図1の半導体レーザ装置の多重ヘテロ構造部のバンド構造と屈折率との関係を示す図。

【図4】多重ヘテロ構造部の漏れ電流の原因となる電子の分布状態を示す図。

【図5】本発明の第2の実施例に係る発光ダイオードの概略構造を示す断面図。

【図6】図5の発光ダイオードの電流-光出力特性と比較例のそれを示す図。

【図7】図5の発光ダイオードの電圧印加時のエネルギーバンド図。

【図8】SIMS分析によるリチウムの分布状態を示す図。

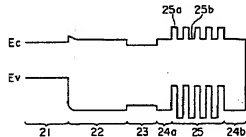
【図9】本発明の第3の実施例に係る発光ダイオードの電流-光出力特性と比較例のそれを比較して示す図。

【図10】従来の青緑色半導体レーザ装置の概略構造を示す断面図。

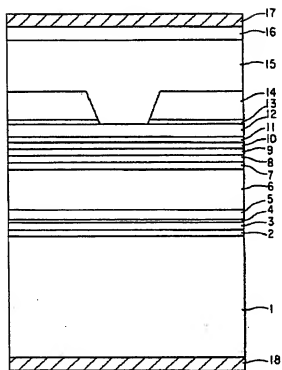
【符号の説明】

1...p型GaAs基板、2...p型InGaP基板表面層、3...p型InGaAlPワイドギャップ層、4...p型InGaP表面層、5...p型ZnSeバッファ層、6...下部クラッド層、7...下部半導体超格子光ガイド層、8...下部半導体障壁層、9...半導体発光層、10...上部半導体障壁層、11...上部半導体超格子光ガイド層、12...上部クラッド層、13...MgSeエッチング停止層、14...p型ZnSe電流阻止層、15...n型ZnSe埋め込み層、16...n型ZnSeキャップ層、17...n側電極、18...p側電極、21...n型GaAs基板、22...n型ZnSe.09Seo.91クラッド層、23...ZnSe活性層、24a、24b...p型ZnSe.09Seo.91クラッド層、25...ZnSSe/ZnTeタイプII超格子層、25a...ZnTe超格子、25b...ZnSSe超格子、26...Au電極、27...AuGe合金電極。

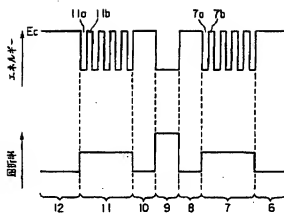
【図7】



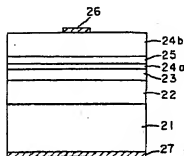
【図 1】



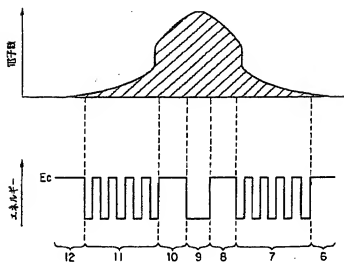
【図 3】



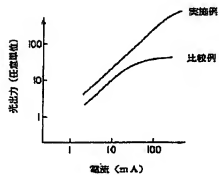
【図 5】



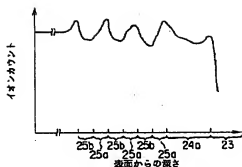
【図 4】



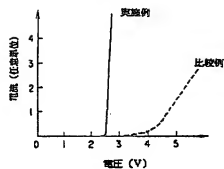
【図 6】



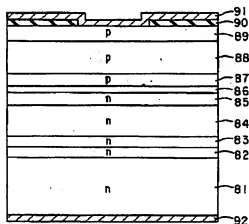
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 鎌田 敦之
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 ジョン・レニー
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内